

15

Г-61

Г-611

Головин Б.М.

О перспективах исследований полупроводниковых
свойств соединений группы сернистого
кадмия.

**ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ,
ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ ПРОБЛЕМ**

Б.М. Головин.

**" О ПЕРСПЕКТИВАХ ИССЛЕДОВАНИИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ
СВОЙСТВ СОЕДИНЕНИЯ ГРУППЫ СЕРНИСТОГО КАДМИЯ".**

ОБЪЕДИНЕННЫЙ ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
БИБЛИОТЕКА

- Москва, 1957 год -

Группа сернистого кадмия состоит из шести соединений: сульфиды, селениды и теллуриды цинка и кадмия. Из них теллурид цинка известен лишь как дырочный проводник, а у остальных до последнего времени удавалось получить лишь электронную проводимость. В 1954 г. Дженни и Бубе / 1 / получили образцы $CdTe$ как с электронной, так и с дырочной проводимостью, а согласно последним сообщениям / 2 / p-n переходы удалось создать также в поликристаллических слоях CdS . Известно / 1,3 /, что для полупроводников рассматриваемой группы введение активаторов III и VI групп периодической системы элементов приводит к появлению электронной проводимости, а введение активаторов I и V групп - создает дырочную проводимость.

Основные характеристики соединений группы сернистого кадмия приведены в таблице I.

Все эти соединения в чистом виде имеют высокие темновые сопротивления ($10^9 - 10^{12}$ ом-см) и слабую фоточувствительность. Введение в их кристаллические решетки даже очень малых количеств посторонних веществ может приводить к резкому изменению как темнового сопротивления, так и фоточувствительности / 4 /, а в некоторых случаях оказывать существенное влияние и на спектральные характеристики / 5 /. Введение кислорода, повидимому, может оказывать различное действие на эти соединения, приводя в общем случае, к уменьшению темного сопротивления и, в зависимости от обработки, либо к

Таблица Б I

Основные характеристики соединений группы

	T °C плавл.	Ширина запрещ. зоны $\Delta E_{ев}$	Работа выхода $\varphi_{ев}$	Подвижность		Время жизни носителей сек	
				μ_n	μ_p	τ_n	τ_p
CdS	1750 при 100 атм	2,1-2,4	4,2	200		$10^{-6}-10^{-3}$	$(10^{-7}-10^{-4})$
ZnS	1850 при 150 атм.	3,64	(4,2)	120			
CdSe	>1350	1,74		(200)		$(10^{-6}-10^{-3})$	
ZnSe		2,58-2,66					
ZnTe	1238,5	2,15					
CdTe	1041	1,45	(3,8-4,0)	300	30		

Цифры в скобках означают, что соответствующие величины оценены косвенно и с малой точностью.

увеличению, либо к уменьшению фоточувствительности. Увеличение фоточувствительности поликристаллических слоев сульфида кадмия при кратковременном прогреве их в атмосфере, содержащей кислород, было обнаружено в частности Б.Т. Коломийцем ^{16 /}, предполагающим, что этот эффект связан с появлением хорошо проводящих перемычек окиси кадмия между отдельными фотопроводящими зернами сульфида. Картина подобного типа наблюдается по видимому, и при кислородной обработке селенида кадмия.

В целом можно сказать, что введение соответствующего набора активаторов позволяет в широких пределах перемещать положение максимума чувствительности рассматриваемых соединений и, в некоторых случаях, даже получить постоянную чувствительность во всей видимой части спектра ^{15 /}. Временные свойства фотопроводимости в рассматриваемых соединениях могут меняться в широких пределах и зависят (для данного фотопроводника) как от способа его изготовления, так и от интенсивности возбуждающего света ^{13,7 /}. При этом время спада фотопроводимости меняется от долей микросекунд в малочувствительных неактивированных кристаллах до секунд в активированных порошках с высокой чувствительностью. Скорость реакции селенида кадмия в общем больше, чем у сульфида. Временные свойства теллуридов сих пор изучены недостаточно. В ряде работ отмечалось, что инерционность поликристаллических слоев может быть сильно снижена в результате кратковременного прогрева их в кислородосодержащей атмосфере. Этот эффект, по видимому, также связан с образованием хорошо проводящих перемычек окиси между фотопроводящими зернами рассматриваемых соединений.

Фотовольтагический эффект. В том случае, когда лишь один из нанесенных на полупроводник контактов является омическим может наблюдаться выпрямляющее действие такой системы и, при освещении, появление на контактах некоторой разности потенциалов.

Оба эти эффекта наблюдались на сернистом кадмии ^{18/} (как для моно-, так и для поликристаллов). Выпрямляющее действие точечных контактов было обнаружено также на монокристаллах $CdTe^{17}$. В наших опытах было получено выпрямительное действие электролюминофорного порошка $ZnS:Cu$, закатанного между медным электродом и нанесенным на стекло слоем SnO_2 . Следует отметить, что применение таких выпрямляющих элементов в качестве фотосопротивлений ^{19/} позволяет получить значительно большую чувствительность, чем при работе с тем же фотопроводником при омических контактах. В упоминавшихся уже опытах с сернистым цинком мы наблюдали увеличение чувствительности в 50 раз при переходе к работе в фотодиодном режиме.

Сравнение различных фотопроводниковых элементов. Основные сведения о некоторых полупроводниковых фотоэлементах и фотосопротивлениях приведены в таблице 2. Из приведенных данных видно, что при использовании материалов группы сернистого кадмия удается получить фоточувствительные устройства, пригодные для работы с разными частями оптического спектра при чувствительности, приближающейся к чувствительности современных фотумножителей.

Таблица № 2

Основные характеристики некоторых фотоэлементов.

Тип фотоэлемента	Область чувствительности	Длина волны, соотв. макс. чувствительности	Интегральная чувствительность	Инерционность (макс. частота модуляц. м. света)
Ag_2S	Видимый свет, близкий ИК	0,8-0,9 μ	6-7 ма/лм	5-10 герц
PbS	Видимый, ИК	2-3 μ	10 ма/лм	6-10 кгц
$Bi-S$	Видимый, близкий ИК	0,7 μ	80 ма/лм	0,1-0,4 кгц
Ge - фото-диод	Видимый, ИК	1,5 μ	20-30 ма/лм	
CdS поликристаллический слой	Видимый, близкий ИК	0,6-0,8 μ	2 а/лм	$10-10^3$ герц
$CdSe:ZnSe$ поликристаллический слой	Видимый, ИК	В завис. от концентрации компонент перемещ. по всему видим. спек.	2 а/лм	
$CdTe$ монокристалл	Видимый, ИК	Около 1 μ	до 0,5 а/лм	
CdS монокристалл	Видимый, близкий ИК	Около 0,5 μ	до 10 а/лм	$10-10^3$ герц
$CdSe$ монокристалл		0,6-0,8 μ 0,7 μ	100 а/лм	$10-10^2$ герц
Вакуумный фотоэлемент	Различные типы перекрывают весь спектр от УФ до близк. ИК		до 50-100 мкА/лм	
Вакуумный фотоумножитель	- " -		$10-10^3$ а/лм	Практич. до 10^8-10^9 гц

Значительное внимание при исследовании свойств полупроводников в настоящее время уделяется вопросу о возбуждении их проводимости с помощью радиации разных типов (рентгеновские лучи, γ -кванты, электроны и β -частицы, протоны, α -частицы) /10/. Из рассматриваемых соединений опыты большей частью проводились с сульфидом кадмия и показали, что монокристаллы этого вещества могут быть успешно использованы в качестве кристаллических счетчиков. К настоящему времени имеется уже ряд конструкций гамма-дозиметров из этого вещества /11/. Широкому применению таких счетчиков в физических исследованиях препятствует трудность получения монокристаллов CdS достаточно больших размеров и малая амплитуда импульса при работе с "бисерными" кристаллами.

Электролюминесценция /12,13/. Это явление представляет собой непосредственное возбуждение свечения некоторых люминофоров электрическим полем. Наибольшее число работ по изучению этого эффекта было выполнено с порошками и монокристаллами люминофоров типа $ZnS:Cu$ (Pb, Cl); $ZnS:Mn$ (Pb, Cl); $ZnS:Cu$ ($ZnS:ZnSe:Cu$ (Cl)), однако есть сведения и о наблюдениях электролюминесценции в ряде других неорганических и в некоторых органических соединениях.

При теоретическом рассмотрении электролюминесценции обычно выделяют три типа этого явления:

а) внутренняя электролюминесценция - наблюдается обычно на взвешенных в диэлектрике порошках, реже на монокристаллах и сублимированных пленках, главным образом при отсутствии непосредственных контактов между люминофором и электродами;

б) электролюминоценция при впрыскивании носителей зарядов - возникает при наличии непосредственного контакта частиц люминофора с электродами, что обеспечивает возможность перехода носителей из электродов в люминисцирующие зерна. Этот тип электролюминоценции является, повидимому, основным также при возбуждении электролюминоцентных слоев с р-п переходами;

в) электрофотолюминоценция - имеет место при одновременном действии на люминофор света и электрического поля (иногда предварительное возбуждение светом и последующее действие поля). Эффекты такого типа наблюдались на порошковых монокристаллах и сублимированных пленках. При этом, в некоторых случаях, число квантов, испущенных электролюминофором в несколько раз превышало число квантов, унававших на него.

Как правило, кристаллолюминофоры приобретают свойства электролюминофоров при введении активаторов в значительно больших количествах, чем это необходимо для изготовления фотопроводника или катодолюминофора.

В настоящее время электролюминоцентные приборы не вышли еще из стадии лабораторной разработки, но в будущем они, вероятно, смогут найти применения в качестве источников света специального назначения, усилителей яркости, приборов "памяти" и т.д. Широкому их применению в качестве осветительных устройств общего пользования в настоящее время препятствует их низкий световой выход (см. табл. 5), но есть основания надеяться, что разработка электролюминоцентных конденсаторов с

Таблица № 3.

СВЕТОВЫЕ ВЫХОДЫ НЕКОТОРЫХ ИСТОЧНИКОВ СВЕТА

Источник света	Электролюминофорный конденсатор	Лампа накаливания	Лампы дневного света
СВЕТОВОЙ ВЫХОД	4 + 5 лм/вт	16 лм/вт	65 лм/вт

прозрачными слоями (взамен порошка с диэлектриком) и использование р-п переходов в таких слоях, позволят получить большую светоотдачу и избавиться от падения яркости такого устройства при его длительной работе.

Кратко остановимся на методах приготовления фотопроводниковых элементов и электролюминофорных конденсаторов из рассматриваемых соединений.

Монокристаллы / 1,2 / - получают обычно при реакции паров кадмия и цинка с сероводородом или сelenистым водородом, паров цинка или кадмия с парами селена или теллура с последующей кристаллизацией из газовой фазы, либо при получении $CdTe$, сплавом кадмия и теллура и последующим медленным охлаждением. Активирующие добавки обычно вводятся в уже выращенные монокристаллы нанесением соответствующих веществ на поверхность кристалла и последующим его прогревом в инертной атмосфере / 4 /.

Порошковые слои / 14 / получают на основе основных соединений, изготавливаемых по технологии, применяемой при производстве люминофоров. Активирующие добавки вводятся при последующем прогреве смеси основного вещества с плавнями (до нескольких процентов) активаторами (обычно несколько сотых процента) в инертной атмосфере. Фоточувствительные элементы из порошков готовят двумя путями:

Слой со связывающими веществами - изготавливается из смеси активированного фотопроводящего порошка со связывающими органическими веществами. Такая смесь наносится на пужную поверхность и ей дается затвердеть.

Спеченный слой. Основное вещество (не активированное) в смеси

с активаторами и плавнями взвешивают в воде, осаждают на рабочую поверхность и высушивают. Затем сухой слой нагревают до температуры, при которой происходит активация порошка и образуется спеченный поликристаллический слой.

Сублимированные слои /15/ получают в результате осаждения паров основного вещества на рабочую поверхность. Активирующие добавки при этом могут либо испаряться одновременно с основным веществом, либо наноситься на поверхность готового слоя и вводиться в него путем диффузии при нагреве в инертной атмосфере.

Слой Кусано /16/. Очень интересным способом получения тонких полупроводниковых слоев является предложенный Кусано и Студером метод их получения из паровой фазы. Согласно этому методу слои активированного сернистого цинка получались при совместном взрывном испарении цинка и активирующего материала ($MnCl_2$; $CuCl_2$; As_2S_3 ; P) в атмосфере сероводорода, протекающего через испарительный сосуд при давлении один миллиметр ртутного столба. Полученные Кусано слои обладали очень высокой однородностью, что позволило автору избавиться от гало вокруг электронного пятна при использовании их в качестве катодолюминофоров. Такие слои выдерживали напряженности до 10^5 в/см и обладали фотоэлектролюминисцентными свойствами с квантовым выходом до 10 вторичных фотонов на 1 первичный /17/. Кроме того, эти слои имели довольно высокую фоточувствительность, достигающую до 0,1-0,5 амп/лм, что является, по видимому, рекордной величиной для приборов, работающих в области ближнего ультрафиолета

($\lambda = 3650 \text{ \AA}$). Если учесть, что метод Кусано позволяет произвольным образом варьировать по толщине образца концентрацию и состав активаторов, то станет ясной большая важность и перспективность дальнейшего развития этого метода и исследование возможности получения с его помощью других полупроводящих слоев.

Электроды. На полученный тем или иным способом монокристалл или слой фотопроводящего или электролюминоцирующего материала электрода, в зависимости от условий эксплуатации изготавливаемого прибора, могут быть нанесены различными способами. В качестве таких электродов часто используются напыленные или химически осажденные слои металла, металлические сетки, или прозрачные слои двуокиси олова ^{/18/} или титана нанесенные на стеклянные подложки.

Значительно большее внимание материалу контактов приходится уделять в том случае, когда по условиям опыта существенно создание контактов определенного типа: омических или выпрямляющих. Как известно ^{/20/}, для получения омических контактов необходимо, чтобы работа выхода электронов из металла ^{/21/}, находящегося в контакте с полупроводником была ниже, чем у полупроводника. Для создания выпрямляющих контактов должно быть выполнено обратное требование. В настоящее время омические контакты для всех полупроводников этого типа обычно изготавливают из галлия или индия, а в качестве выпрямляющих контактов могут быть применены многие металлы ^{/2} часть из которых приведена в таблице 4. Следует помнить, что все сказанное относится к полупроводникам с электронной

Таблица № 4

Омические и выпрямляющие контакты

Полупроводник	CdS		n-р-проводимость		CdTe	2					
					n-пров. p-пр.	п					
Омический контакт	Металл	Ga			In	3					
	Работа выхода ψ_{ev}	3,6			3-4						
Выпрямляющ. контакт	Металл	Au	Cu	Pt	W	Zr	Al	Pb	Sn	Ga	C
	Работа выхода ψ_{ev}	4,58	4,47	5,29	4,5	3,84-4-13	4,25	4,02	4,08	3,6	4,

проводимость. Для полупроводников с дырочной проводимостью все условия будут противоположны.

Усилители яркости. За последние годы значительное внимание уделяется опытам по созданию приборов для усиления яркости изображений. В настоящее время описаны ^{полупроводниковые} приборы двух типов, пригодные для решения этой задачи.

Первый из них - однослойный усилитель яркости /17, 19, 23/ основан на использовании эффекта электрофотолюминесценции в слоях типа Кусано. Он представляет собой тонкий слой сернистого цинка, активированного марганцем, осажденного на проводящий слой двуокиси титана на стекле. Вторым электродом служит нанесенный испарением тонкий слой алюминия. При подаче на этот элемент напряжения, соответствующего градиенту поля в нем около 10^5 вольт/см при отсутствии светового возбуждения, электролюминесценция почти отсутствует. Однако, при одновременном возбуждении люминофора светом с длиной волны 3650 \AA наблюдается желтое свечение (повидимому линии марганца) с выходом до 1.0 квантов на 1 квант возбуждающего света.

Второй тип усилителей яркости - многослойный усилитель /23, 24/ представляет собой по существу последовательно включенные фотопроводник и электролюминофорный конденсатор. В темноте сопротивление фотопроводника много больше чем электролюминофора и напряжение на последнем очень мало. При засветке фотопроводника его сопротивление падает. Напряжение на электролюминофоре возрастает и он начинает светиться. При соответствующих условиях яркость свечения электролюминофора может во много раз превышать яркость возбуждающего света. Некоторые характеристики современных усилителей яркости обоих типов приведены в

таблице 5

Таблица № 5

Характеристики полупроводниковых усилителей яркости.

Тип усилителя яркости	Однослойный	Многослойный
Чувствителен к	УФ	Видимый, ИК, рентг
макс. усиление по энергии свет γ -лучи	$\frac{7}{< 1}$	> 100 3
Время спада свечения	секунды	секунды
Достигнутые размеры	4" \approx 10,0 см	12" \approx 30,0 см
Возможность последовательного соединения	нет	возможно
Возможность получения обратной связи	нет	Возможно в любой степени, вплоть до нестабильных устройств.

ПЕРСПЕКТИВЫ.

Соединения группы сернистого кадмия в настоящее время довольно широко применяются для изготовления катодов- и электролюминофорных экранов, фотосопротивлений или фототанческих элементов. В Советском Союзе работы ведутся, основном, в направлении исследования свойств порошковых слоев и монокристаллов. Сублимированные слои не вышли из лабораторий, а каких-либо сообщений о работах со слоями типа Кусано в нашей литературе не имеется. Между тем дальнейшая разработка этой методики, повидимому, позволит получить новые интересные как научные, так и прикладные результаты.

Ниже кратко рассмотрены некоторые, в основном, прикладные задачи, могущие решаться с помощью метода Кусано.

1. Фотосопротивления и электролюминофоры.

а) На основе сульфида цинка. Слои, исследованные Кусано относятся именно к этой группе веществ. Из приведенных работ^[17] можно заключить, что однослойный усилитель яркости Кусано являлся в то же время и очень эффективным фотосопротивлением, чувствительность которого к излучению, как уже указывалось, достигала небывалой, для этой части спектра, величины. Можно надеяться, что при подборе оптимального, с точки зрения фотопроводимости, состава и концентрации активаторов удастся, с помощью этой методики получить еще более эффективные фотосопротивления для регистрации ультрафиолета.

б) На основе сульфида кадмия. Из таблицы 2 видно, что наибольшей чувствительностью обладают фотоспротивления из монокристаллов сернистого и сelenистого кадмия. Однако способы получения монокристаллов большого размера еще не найдены, а в фотоспротивлениях на основе порошковых слоев чувствительность получается меньшей и трудно добиться высокой однородности рабочей поверхности. Тот факт, что слои Кусано способны выдерживать чрезвычайно большие напряжения поля, повидимому свидетельствуют об очень высокой их однородности, что в свою очередь может явиться указанием на наличие значительной упорядоченности в их структуре. Поэтому, можно надеяться на получение этим способом фотоспротивлений из сульфида кадмия с чувствительностью еще большей, чем указано в таблице I при очень большой однородности чувствительного слоя и со свойствами, близкими к свойствам монокристаллов. При этом слои могут быть, повидимому, получены как с омическими, так и с выпрямляющими контактами.

в) На основе селенида кадмия. По литературным данным порошковые фотоспротивления из этого вещества имеют чувствительность, сходную или более высокую чем сопротивления из CdS и имеют более короткое время реакции. Что касается монокристаллов^{/25/}, то полученная чувствительность является рекордной для фотоспротивлений и приближается к чувствительности фотоумножителей. Поэтому следует ожидать, что тонкие слои селенида кадмия, полученные по методу Кусано позволят разработать еще более чувствительные фотоспротивления для видимой и ИК-частей спектра. Такие фотоспротивления в некоторых слу

чаях смогут успешно конкурировать с фотоумножителями.

Г) На основе сложных систем $ZnS:CdS$ и $ZnSe:CdSe$.

Изучение таких систем представляет значительный интерес, т.к. по литературным данным спектральная зависимость их фоточувствительности сильно зависит от относительной концентрации компонент и может варьироваться в широких пределах^{/26/}.

д) На основе теллурида кадмия. Изучение фотосопротивления этого типа представляет интерес, в основном, из-за их чувствительности в ИК области спектра и в связи с возможностью получить на основе этого соединения эффективные элементы для преобразования солнечной энергии в электрическую.

Ламинифоры. Как уже указывалось во вводной части выходы электролюминофоры при использовании "впрыскивания" носителей оказывается значительно большим, чем при использовании эффекта внутренней электролюминоценции. Тот факт, что слои Кусано не нуждаются в диэлектрике-связке и непосредственным контактом электродов с таким слоем может быть осуществлен без серьезных затруднений, позволяет надеяться на получение этим методом эффективных электролюминофоров, в частности, электролюминофоров с внутренними p-n переходами (см. след. раздел)

II. Изменение знака проводимости в веществах группы сернистого кадмия.

а) Получение p-проводимости. Все вещества этой группы ^{кроме} обычно имеют электронную проводимость и долгое время никому не удавалось наблюдать в них появление дырочной проводимости. Однако, как уже указывалось, в последнее время удалось получить p-проводимость в чистом виде в монокристаллах теллурида

кадия^{/1/} установить возможность движения свободных дырок[/] и получить n - p переходы в CdS ^{/2/}. Получение дырочной проводимости во всех веществах этой группы в чистом виде и определение характеристик материалов в этом состоянии представляется значительный интерес с точки зрения теории полупроводников. Метод Кусано, по видимому, дает возможность провести ряд опытов в этом направлении (введение активаторов I и У групп периодической системы).

б) Слои с p - n переходами. Метод Кусано дает возможность в процессе изготовления образца произвольным и контролируемым образом изменять состав и концентрацию активаторов. Это позволяет получать в части образца (на некоторой толщине) проводимость одного знака, а на другой его части - проводимость другого знака, т.е. получить образец с p - n переходом. Такие опыты представляют значительный научный интерес и позволяют получить новые типы фотодиодов и солнечных элементов. По известным данным ^{«Соединение»} элементы ~~из~~ CdS имеют примерно такую же эффективность преобразования, как и кремниевые, но способны работать при значительно больших освещенностях без насыщения и уменьшения КПД. ^{/8/}. Значительный интерес с этой точки зрения могут представить опыты с элементами из теллурида кадмия, т.к. ширина запрещенной зоны в этом соединении близка к оптимальной с точки зрения эффективности преобразования солнечной энергии (теоретический КПД до 20-25%) ^{/28/}.

Эти соединения могут оказаться полезными также в опытах по преобразованию энергии ядерных распадов в электрическую

В том случае, если удастся получить переходный слой достаточно широким, можно будет наблюдать процесс лавинного размыкания носителей тока в нем при таких напряженностях поля, когда еще не развивается тепловой пробой, разрушающий образец. Это позволит создавать фотодиоды с внутренним усилением тока, т.е. приборы, представляющие собой "твердые фотоумножители". Такие устройства могли бы найти применение при конструировании чувствительных фотодетекторов, детекторов ядерных излучений геологопоисковых радиометров и т.п., а также в различных конструкциях усилителей яркости и телевизионных приборах. (См. также следующий раздел).

III. Усилители яркости.

В настоящее время в литературе обсуждаются конструкции усилителей яркости двух типов, принципы устройства которых были описаны в обзорной части этой работы. Первый вариант однослойный усилитель - с самого начала изготовлялся по методу Кусано. Наиболее существенными недостатками этого прибора следует считать его большую инерционность, возможность работать при возбуждении лишь УВ часть спектра и невозможность последовательного соединения нескольких усилителей. Дальнейшие разработки должны быть направлены на устранение этих недостатков и могут вестись, например, по следующим направлениям:

а) Подбор нового материала, вероятно на основе соединения кадмия, который был бы чувствительным к более длинноволновой части спектра.

б) Переход на импульсное питание усилителя, т.к. по данным, приведенным в работе^{/17/} инерционность такого усилителя по отношению к сдвигу поля заметно меньше, чем по отношению к изменению интенсивности возбуждающего света.

в) Возможность соединения нескольких каскадов однослойных усилителей яркости быть может окажется возможной при разработке нескольких типов усиливающих слоев со сдвинутыми спектральными характеристиками.

Второй вариант - многослойный усилитель - представляет собой более гибкую конструкцию, но имеет меньшую разрешающую способность по экрану и изготовление достаточно однородных по чувствительности усилителей этого типа с большой площадью встречается со значительными трудностями. Можно рекомендовать следующие направления дальнейших разработок:

а) Получение с помощью метода Кусано фотопроводниковых слоев высокой чувствительности с большим темновым сопротивлением.

б) Получение фотодиодов с большими темновыми сопротивлениями и лавинным размножением носителей зарядов (на основе метода Кусано).

в) Получение достаточно ярких электролюминофорных слоев с помощью метода Кусано.

г) Получение с помощью распыления непрозрачных диэлектрических слоев не обладающих фотопроводимостью и не дающих электролюминофорного свечения (для устранения оптической обратной связи в усилителе).

д) Изготовление комплексного прибора.

Такая программа, опытов, по всей вероятности, сможет обеспечить постройку многослойного усилителя яркости с хорошим разрешением по экрану, с чувствительностью в заданной части спектра и однородной чувствительностью по принимающей поверхности.

Возбуждение усилителей яркости различными видами излучения

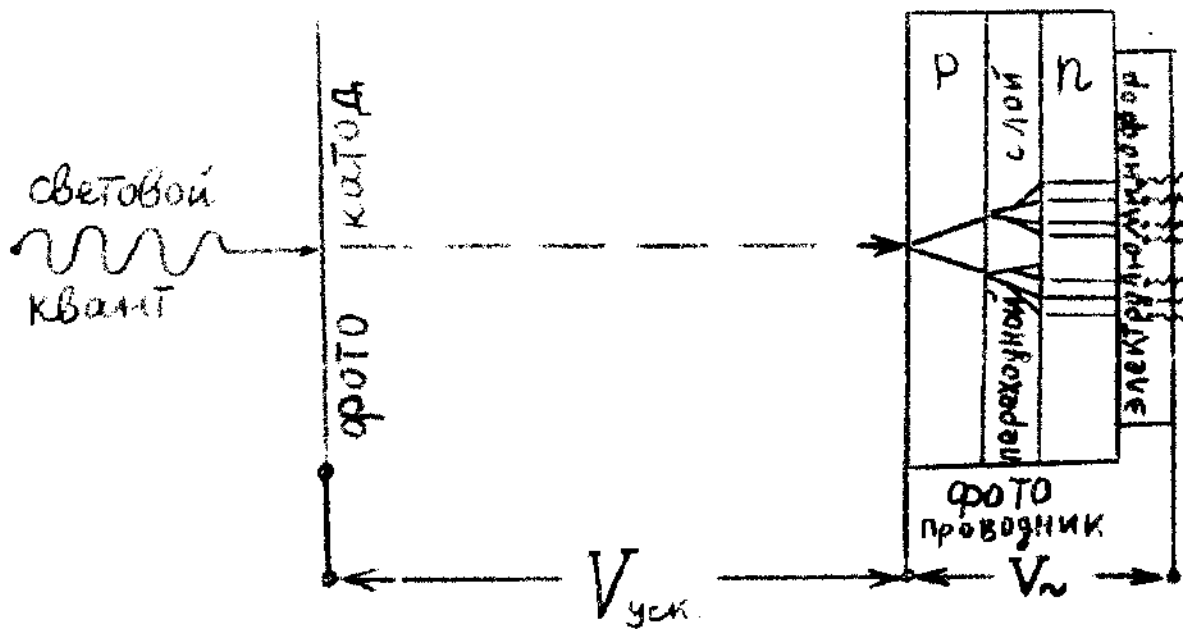
Проведение опытов по возбуждению усилителей яркости радиацией разных типов представляет значительный интерес с точки зрения создания поисковых приборов и дозиметров, приборов, заменяющих фотопленки при снятии радиографов (или сокращающих экспозицию при такой съемке), экранов, позволяющих уменьшить необходимую интенсивность рентгеновских лучей при различного рода обследованиях.

Изучение возбуждения усилителей яркости электронами с энергией в 10-30 киловольт необходимо провести для выяснения возможности создания еще одного типа усилителя яркости, являющегося комбинацией вакуумного электроннооптического преобразователя и полупроводникового усилителя яркости. Схема прибора приведена на рис.1. Такой прибор представляет собой по существу многокаскадный электроннооптический преобразователь и в ряде случаев сможет конкурировать с современными вакуумными приборами этого класса.

15. Получение полупроводящих слоев

Других типов.

Дальнейшим развитием метода Кусано могут явиться опыты по получению полупроводящих слоев на основе соединений, отличных от рассмотренных в этой работе. В частности, очень больш



Р И С 1.

СХЕМА КОМБИНИРОВАННОГО УСИЛИТЕЛЯ ЯРКОСТИ.

Фотокатод ускоряется в поле $V_{уск} = 10 - 30$ кВ. Тормозясь в поле фотопроводника он создает $\sim 10^3$ пар носителей заряда, число которых может быть затем сильно увеличено за счет лавинного процесса в p-n переходе. Число носителей, дошедших до электродов при этом будет в $10^4 - 10^5$ раз больше, чем при непосредственном возбуждении светом полупроводникового усилителя яркости.

шой интерес представляет собой в настоящее время задача изучения полупроводящих интерметаллических соединений /28/ и, частности, изучение свойств р-п переходов в таких соединениях. В определенных пределах ^{на задаче} может успешно решаться с помощью метода Кусано.

Значительный интерес представляет также исследование возможности получения этим методом фотосопротивлений из PbS , Ag_2S , Bi_2S_3 и т.д., а также ряда более сложных систем /26/

У. Получение монокристаллов соединений

группы CdS из расплава.

До последнего времени единственным методом получения монокристаллов этой группы, нашедшим практическое применение, являлся метод получения их из газовой фазы. Однако некоторое время назад появилось сообщение /1/ о получении монокристаллов теллурида кадмия из расплава при медленном охлаждении последнего. Освоение и дальнейшая разработка этого метода в применении ко всем членам семейства CdS также обещает большие перспективы в области создания ряда приборов (например счетчиков ядерных частиц с малым временем реакции), возможность применения поликристаллических образцов в которых сомнительна.

1. D. Jenny, R. Bube, Phys. Rev. 96, 1190-1191 (1954)
2. Д.Н. Наследов. Вестник АН СССР № 6 за 1957 г. стр.73
3. R. Bube, Proc. IRE, 43, 1836 (1955)
4. R. Bube, S. Thomsen, Journ. Chem. Phys. 23, 15, 18 (1955)
5. P. Goerke, Ann. Télécom. 6, 325 (1951)
6. Б.Т. Коломнец. ДАН СССР, 83, № 4, 561-563, 1952.
7. R. Bube, J. Appl. Phys. 27, 1237 (1956)
8. См. например, D. Reynolds, G. Leies, L. Antez, R. Harburger, Phys. Rev. 96, 533(L) 1954.
9. См. например, D. Reynolds, L. Green, L. Antez, J. Chem. Phys. 25, 11 (1956)
10. См. например, R. Hofstadter, Proc. IRE, 38, 726 (1950)
11. См. например, H. Simon, H. Thiel, Ann. Phys. 14, 54 (1954)
12. И.Н. Орлов, И.Я. Лямичев. МРТИ. Труды научно-исследовательского института . вып. 9(45) за 1957 г., стр. 3-63.
13. G. Destriau, H. Ivey, Proc. IRE, 43, 1911 (1955)
14. F. Nicoll, B. Kazan, J. Opt. Soc. Am. 45, 647 (1955)
S. Rotzchild, J. Opt. Soc. Am. 46, 662(L) (1956)
15. E. Schwarz, Nature 162, 614 (1948)
Proc. Phys. Soc. 62A, 530 (1949); 63B, 624 (1950); 64B, 821 (1951)
16. P. Görlich, J. Heyne, Optik 4, 208 (1948)
J. Braithwaite, Proc. Phys. Soc. 64B, 274 (1951)
17. F. Studer, D. Cusano, J. Opt. Soc. Am. 45, 493 (1955)
18. D. Cusano, Phys. Rev. 96, 546(L) (1955)
D. Cusano, Phys. Rev. 106, 604(L), (1957)
19. R. Aitelson, Austral. J. Appl. Sci. 5, 10 (1954)

19. D. Cusano, F. Williams, Gen. Electr. Rev. N5, 20 (1956)
20. R. Smith, A. Rose, Phys. Rev. 97, 1525 (1955)
- См. также: А. Ф. Иоффе "Физика полупроводников", 1957 г. стр.
21. H. Michaelson, J. Appl. Phys. 21, 536 (1950)
22. W. Walker, E. Lambert, J. Appl. Phys. 28, 635 (1957)
23. B. Kazan, F. Nicol, J. Opt. Soc. Am. 47, 827 (1957)
24. G. Diemer, H. Klasens, Philips Research Reports, December 1955
pp. 401-424
- В. Казан, F. Nicoll, Proc. IRE 43, 1888 (1955)
25. С. Свечников, В. Александров. ЭТФ 27, № 5, 919-920, 1957 г.
26. См. например: Н. А. Горьнова, Б. Т. Коломиец. Радиотехника и электроника 1, № 3, 1155-1161, 1956.
27. P. Heerden, Phys. Rev. 106, 468 (1957)
28. См. например, В. К. Субашиев "Полупроводниковые преобразования солнечной энергии". Ленинград, 1956 г.
29. См. например, H. Hrostowski, Bell. Lab. Record 34, 246 (1956)
L. Pincherle, J. Radcliffe, Advances in Phys. 2, July (1956)
30. См. например, Н. А. Горьнова, Б. Т. Коломиец ЭТФ 25, № 6, 984, 1955
ЭТФ 25, № 1, 13, 1955
ЭТФ 26, № 8, 1625, 1956